

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN EL SISTEMA
DE ATENCIÓN A USUARIOS DE LA ESTACIÓN DE SERVICIO DE COMBUSTIBLES
BOMBA LA V**

Johner Taborda Zapata

Programa Ing. Industrial

Sara María Aguilar Sierra, PhD.

Programa de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Universidad Católica Luis Amigó

Medellín, 2020-II

Contenido

1. Resumen.....	5
2. Introducción	5
3. Justificación	7
4. Marco Teórico.....	8
5. Objetivos	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
6. Metodología	12
Etapa 1: Definición del sistema.	12
Etapa 2: Desarrollo del modelo conceptual mediante diagrama de flujo.	13
Etapa 3: Recolección y análisis de datos.	13
Etapa 4: Desarrollo de modelo en lenguaje específico de simulación.	14
Etapa 5: Experimentación y evaluación de alternativas.	14
Etapa 6: Análisis de resultados obtenidos mediante la simulación.	15
Etapa 7: Recomendaciones.	15
7. Definición del sistema.....	15
6.1 Descripción detallada del sistema a analizar.....	15
6.1.1 Principales subsistemas y áreas físicas que integran el sistema analizado	16
6.1.2 Tipos de servicios que se realizan en el sistema analizado.....	16
6.1.3 Variables de entrada del sistema analizado	16
6.1.4 Horarios y días sujetos a estudio.....	17
6.1.5 Fuente empleada para la toma de la información necesaria para el estudio	17
6.1.6 Supuestos	17
8. Modelo esquemático y diagrama de flujo del sistema.	17
9. Recolección y análisis de datos.....	19
8.1 Diseño de las hojas de verificación para la toma de datos	19
8.2 Organización y análisis de los datos muestreados.....	22
8.3 Resumen del ajuste de cada variable y a la distribución a la que se ajustó	31
10. Desarrollo del modelo en lenguaje específico de simulación.	31
9.1 Redacción de las características del sistema a simular.....	31
9.2 Impresión del layout del modelo.	32

9.3 Impresión del código fuente del modelo	34
9.4 Impresión del reporte de salida de las corridas.....	36
9.4.1 Locaciones de capacidad individual reporte general	36
9.4.2 Locaciones con múltiple capacidad	37
9.4.3 Actividad de las entidades en minutos.....	37
10. Experimentación y evaluación de alternativas.....	38
10.1 Especificar alternativas a considerar	38
10.2 Impresión del layout modelo alternativo.....	39
10.3 Impresión del código de fuente de alternativas	39
10.4 Análisis de resultados obtenidos mediante la simulación del modelo alternativo.....	40
10.4.1 Locaciones con múltiple capacidad modelo alternativo	40
10.4.2 Actividad de las entidades en minutos:.....	41
11. Conclusiones	43
12. Recomendaciones.....	43
Referencias bibliográficas	44

Figuras

Figura 1. Modelo esquemático del sistema de atención al usuario de Bomba la V.	18
Figura 2. Diagrama de flujo del sistema de atención al usuario Bomba la V.	19
Figura 3. Hoja de verificación para la variable de entrada: tiempo entre llegadas motos.	20
Figura 4. Hoja de verificación para la variable tiempo de atención en servidores motos.....	21
Figura 5. Hoja de verificación para la variable tiempo entre llegadas autos.	21
Figura 6. Hoja de verificación para la variable tiempo de atención en servidores autos.	22
Figura 9. Histograma de frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores motos....	28
Figura 10. Histograma de frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores autos. ...	30
Figura 11. Layout del modelo inicial.	33
Figura 12. Código fuente del modelo.....	35
Figura 13. Reporte de locaciones con capacidad individual.	36
Figura 14. Reporte de locaciones con múltiple capacidad.	37
Figura 15. Reporte de actividad de entidades en minutos.....	38
Figura 16. Layout del modelo alternativo.	39
Figura 17. Ajuste del código fuente correspondiente a la simulación del modelo alternativo.	40
Figura 18. Reporte de locaciones con capacidad múltiple modelo alternativo (servidor).	40
Figura 19. Reporte de locaciones con capacidad múltiple modelo alternativo (línea de espera). .	41
Figura 20. Reporte de actividad de las entidades con el modelo alternativo.	42

Tablas

Tabla 1. Distribución de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas motos.	23
Tabla 2. Distribución de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas autos.....	25
Tabla 3. Distribución de frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores.....	27
Tabla 4. Distribución de frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores autos.	29
Tabla 5. Distribución y estimadores para cada variable de entrada.	31
Tabla 6. Tabla comparativa de resultados modelo inicial versus modelo alternativo.....	42

1. Resumen

En las estaciones de servicio de combustibles, uno de los criterios de satisfacción del cliente es el tiempo transcurrido entre el momento en que el cliente entra a la línea de espera hasta los servidores, si se generan tiempos de espera prolongados, existe la posibilidad de que el cliente abandone el establecimiento sin concluir su compra, por ello surge la necesidad de crear un servicio de atención al cliente de alta calidad, con una óptima gestión administrativa para la asignación de los recursos, en lo posible empleando de nuevas tecnologías. Actualmente, se utilizan técnicas como la simulación que permiten aproximarse a la realidad y de este modo dar solución a los posibles problemas, sin incurrir en gastos de implementación elevados y en ocasiones, ineficaces. En este trabajo se busca optimizar el proceso de asignación de recursos en el sistema de atención a usuarios de la estación de servicio de combustibles Bomba la V mediante la integración de teoría de colas y modelado de eventos discretos en Promodel. El modelo generado en este trabajo es adecuado como soporte para la toma de decisiones ya que se convierte en una vía para la obtención de ventajas competitivas de empresas prestadoras de servicios, el modelo permite analizar las posibles causas y efectos que tienen las decisiones, y permite entender la complejidad de los sistemas y adquirir una lógica cuyos resultados se verán reflejados al mejorar los sistemas y hacerlos óptimos.

Palabras clave: optimización, simulación, sistema atención usuarios, asignación de recursos

2. Introducción

En la actualidad, para las empresas establecidas como puntos de venta de productos o prestación de servicios, la variable “clientes satisfechos” es fundamental a la hora de ser competitivos y reconocidos. Sin embargo, para comprender el significado de “cliente satisfecho”, hay que ir más

allá de los portafolios de los productos o servicios que se ofrecen, de la calidad del personal que realiza la atención o del diseño de la instalación, pues el ambiente que rodea la entrega del producto o servicio es lo que permite generar el valor agregado. Por lo tanto, el valor agregado en la efectividad de la atención al usuario se basará en controlar el tiempo de espera de atención de un cliente y esto se refiere al tiempo transcurrido entre el momento en que el cliente entra a la línea de espera hasta los servidores (Thompson, 2006). Cuando se generan tiempos de espera prolongados, se produce insatisfacción y quejas y por lo tanto existe la posibilidad de que el cliente abandone el establecimiento sin concluir su compra. Lo anterior, afecta los índices de satisfacción del cliente, que son prioritarios para toda empresa que preste un servicio determinado o comercialice determinado tipo de productos (Lieberman, 2015).

Dicho lo anterior, surge la necesidad de crear un servicio de atención al cliente de alta calidad, con una óptima gestión administrativa para la asignación de los recursos. Asimismo, para que ocurra esto, se debe contar con el apoyo de nuevas tecnologías, orientadas a la toma de decisiones relacionadas con la planificación y previsión de recursos físicos, económicos y de personal. Actualmente, se utilizan técnicas como la simulación que permiten aproximarse a la realidad y de este modo dar solución a los posibles problemas, sin incurrir en gastos de implementación elevados y en ocasiones, ineficaces.

Las técnicas de simulación permiten, a través del análisis de escenarios donde se conoce el comportamiento de las variables en el tiempo, realizar modificaciones experimentales de los parámetros del sistema y conocer los indicadores para tomar decisiones basadas en información exacta. Estos indicadores permitirán ofrecer recomendaciones a la empresa enfocadas en la optimización de recursos y procesos y así incrementar la calidad del servicio y tener día a día más clientes satisfechos (Dunna, García , & Cárdenas, 2006).

La asignación de recursos es un factor importante para las organizaciones, una buena asignación de los recursos se refleja en disminución de costos y a su vez el aprovechamiento de estos de manera eficiente. Para lograr esto existen herramientas probabilísticas, que integradas con teoría de colas de investigación de las operaciones y la modelación de eventos discretos mediante Promodel que son fundamentales para la optimización y mejora de los diferentes procesos de atención a usuarios.

Lo verdaderamente trascendente en la utilización de esta herramienta no es la solución del problema, sino la capacidad que brinda al equipo de trabajo encargado de la simulación de analizar las posibles causas y efectos que tienen sus decisiones, permitiéndole entender la complejidad de los sistemas y adquirir una lógica cuyos resultados se verán reflejados al mejorar sistemas y hacerlos óptimos.

3. Justificación

La estación de servicio de combustibles “Bomba la V”, asigna la cantidad de servidores para el sistema de atención al usuario y/o servicio de suministro de combustibles sin un previo análisis del flujo de usuarios que ingresan al sistema entre las 6pm y 9pm en los días de semana (lunes a domingo); horarios en los cuales se realizará la respectiva simulación del sistema. Mediante la toma de tiempos y simulación del sistema actual se observarán variables relevantes para el proceso de asignación de recursos como el tiempo de espera y tiempo de atención; lo cuales son vitales para la satisfacción del cliente. A su vez se medirá el porcentaje de tiempo ocioso y generar propuestas para la asignación del número de servidores adecuado evitando al máximo tiempos muertos en el sistema, una correcta asignación de recursos se verá reflejada en disminución de costos y mejoramiento en los tiempos de atención al usuario.

4. Marco Teórico

La simulación es la técnica que consiste en realizar experimentos de muestreo sobre el modelo de un sistema. De acuerdo con Sarmiento-Vásquez y López-Sandoval, (2017) “Simulación es la representación de un sistema dinámico usando un modelo computacional con la finalidad de evaluar y mejorar el desempeño del sistema” (p. 29). Un modelo no es más que un conjunto de variables de entrada para el caso en estudio; tiempo entre llegadas y tiempo de atención y variables

de salida; tiempo ocioso y tiempo total en el sistema, junto con ecuaciones matemáticas que las relacionan y restricciones sobre dichas variables (Abad, 2002).

De acuerdo con García Dunna et al., (2006) “Simulación de eventos discretos es el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado”.(p.3)

Un sistema de colas puede describirse como; un conjunto de “clientes o usuarios” que llega a un sistema buscando un servicio, entran a una fila o cola si el servicio no es inmediato, y por último abandonan el sistema una vez han sido atendidos. En algunos casos se puede admitir que los clientes o usuarios abandonan el sistema si se cansan de esperar (Sabater, 2016). En otros casos, el flujo de usuarios o clientes permite adecuar un número específico de servidores para disminuir el porcentaje de tiempo ocioso de los mismos para un total aprovechamiento del recurso, el porcentaje de tiempo ocioso se define como la cantidad de tiempo que el servidor u operario permanece inactivo entre el tiempo o intervalo de tiempo tomado para la simulación, este resultado entrega el porcentaje de tiempo ocioso de un servidor u operario.

Los sistemas de colas o también denominados líneas de espera utilizan distribuciones de probabilidades para proponer estimaciones de tiempo promedio, empleando modelos según el número de servidores que existan dentro del sistema y la distribución con la cual se establecen las llegadas (Elizabeth & Correa Fuenzalida, 2016).

En la simulación, existen modelos deterministas que son aquellos que los datos de entrada tienen un orden determinado como por ejemplo un sistema en el cual la llegada de usuarios o clientes esté programado o agendado. Por otra parte, están los modelos estocásticos que contienen variables de

entrada aleatorias. Las variables del modelo calculadas a partir de variables aleatorias son también aleatorias. Por ello, la evolución de este tipo de sistema debe estudiarse en términos probabilísticos (Moraleda & Martín Villalba, 2013).

Para la realización de un modelo es necesario familiarizarse con los términos más utilizados para construir los modelos (Cárdenas Zavala, 2018):

- Sistema: se entiende como el conjunto de elementos que se interrelacionan para lograr un objetivo en común. Para la simulación, se puede decir que un sistema contiene diversos elementos, los cuales definen el qué, quién, dónde, cuándo, por qué y cómo.
- Entidades: representación de los flujos de entrada a un sistema (clientes, piezas, ventas por día, etc).
- Eventos (actividades): cambio en el estado actual del sistema (entrada o salida de una entidad, finalización de un proceso en un equipo, etc.).
- Locaciones: lugares en los que se realiza una actividad a una entidad o donde puede esperar para que se le realice (máquinas, bandas transportadoras, estaciones de inspección, etc.).
- Recursos: son aquellos dispositivos (diferentes a las locaciones) necesarios para llevar a cabo una operación. Por ejemplo: montacargas, personas, camiones, etc.
- Atributos: es una característica de una entidad, es una manera de clasificar las entidades. Por ejemplo, si los clientes se clasifican en hombres o mujeres, tipo de pieza, tipo de producto o servicio, si el cliente acude directamente a la empresa o llama por teléfono, etc.
- Reloj de simulación: es el contador de tiempo de la simulación. Siempre hay un inicio y un fin cronológico.

Se trabajará bajo la teoría de los modelos estocásticos, ya que las variables de entrada del modelo son aleatorias y éstas dependerán de los fenómenos probabilísticos y del tiempo.

5. Objetivos

Objetivo general

Optimizar el proceso de asignación de recursos en el sistema de atención a usuarios de la estación de servicio de combustibles Bomba la V mediante la integración de teoría de colas y modelado de eventos discretos en Promodel.

Objetivos específicos

- Caracterizar el sistema de atención al cliente de la estación de servicio de combustibles a través de la toma de tiempos.

- Analizar el funcionamiento actual del sistema de atención al cliente de la estación de servicio de combustibles mediante herramientas estadísticas.
- Desarrollar una propuesta de mejora para optimizar sistema de atención al cliente con base en los resultados obtenidos en la simulación del sistema de atención al cliente de la estación de servicio de combustibles.

6. Metodología

Etapas 1: Definición del sistema.

Se examinaron detalladamente subsistemas y áreas físicas involucradas en el sistema de atención a usuarios de Bomba la V mediante observación directa, características como: los dispensadores de combustibles, capacidad de filas, servidores entre otros. Además, se registraron los tipos de servicios prestados para luego plasmar gráficamente un flujo de las relaciones existentes. Con base en lo anterior, se definieron las características principales del sistema:

- Llegada de usuario a sistema
- Usuario se dirige a la fila de espera del área de servicio de la estación de combustibles
- Usuario es atendido por el servidor
- Usuario abandona el sistema

Etapa 2: Desarrollo del modelo conceptual mediante diagrama de flujo.

En el desarrollo del modelo conceptual se determinó la relación de las variables de entrada con las variables de salida, y luego a partir de estas relaciones, se ilustró mediante un modelo conceptual su interacción mediante un diagrama, donde se evidenció el comportamiento del sistema.

Etapa 3: Recolección y análisis de datos.

La recolección de datos es un tema crítico dentro del desarrollo de un estudio de simulación. Esta etapa consistió en generar las variables de entrada a través del muestreo. Las variables de entrada o variables independientes para este caso fueron las siguientes: tiempo entre llegadas motos, tiempo entre llegadas autos, tiempo de atención en servidores motos y tiempo de atención en servidores autos. Se utilizó un cronómetro para la medición de tiempos de atención para motos y autos, y el uso de planillas y/o hojas de verificación de datos diseñadas en Excel estipuladas para la toma de tiempos, todo esto mediante la observación directa del sistema de atención usuarios de Bomba la V.

A partir de las variables de entrada se determinaron las siguientes variables dependientes: tiempo promedio de espera o permanencia en la fila por usuario para ser atendido por el servidor, tiempo promedio de atención, porcentaje de tiempo ocioso y/o vacío por servidor, cantidad de personal adecuado en el área de atención para hacer más eficiente el servicio y tiempo promedio que los usuarios permanecen en el sistema.

Se recolectaron datos suficientes para cada variable de entrada muestreada con el fin de alcanzar un nivel de confiabilidad en los datos tomando como base el coeficiente de determinación R^2 para la verificación del tipo de distribución al cual se ajustan los datos muestreados, entre los tipos de

distribución podemos encontrar ajustes tipo Log normal, exponencial, uniforme, entre otros. También se definieron la desviación estándar (σ) y media (\bar{x}) de los datos muestreados para cada una de las variables de entrada (para las distribuciones de tipo exponencial únicamente se calculó la media dado que es el único estadístico necesario para la programación del modelo simulado en Promodel).

Etapas 4: Desarrollo de modelo en lenguaje específico de simulación.

El desarrollo del modelo de simulación se construyó utilizando la conceptualización del problema establecida anteriormente, se utilizó Promodel para construir el modelo, simularlo y validarlo.

Etapas 5: Experimentación y evaluación de alternativas.

Se establecieron alternativas al experimentar con la simulación asignado el número de servidores óptimo, lo anterior basado en los estadísticos obtenidos del modelo inicial; caso en el cual el servicio de atención al usuario Bomba la V asigna dos servidores para satisfacer la demanda de usuarios presentada en los horarios de estudio establecidos.

Evitando al máximo el porcentaje de tiempo ocioso y/o vacío, tiempos de espera de los usuarios y otras variables de salida obtenidas en los resultados, se evaluaron diferentes alternativas y se definieron las que mejor se ajustan al sistema de atención al usuario y/o servicio de suministro de combustibles de la Bomba la V con respecto a la asignación de recursos (servidores). Las alternativas están ligadas a los resultados obtenidos durante la primera simulación, la cual corresponde al modelo inicial, según los resultados las variables dependientes como lo son: tiempo ocioso/vacío de servidores, tiempo promedio en fila de los usuarios y otras variables serán las que lleven a seleccionar una alterativa que se ajuste mejor al sistema.

Etapas 6: Análisis de resultados obtenidos mediante la simulación.

Se analizaron los resultados obtenidos en la simulación inicial y se compararon con la simulación alternativa disminuyendo el número de servidores a uno, priorizando el alto porcentaje de tiempo ocioso presentado en el modelo inicial de dos servidores y priorizando el tiempo de espera por parte de los usuarios para ser atendidos por el servidor.

Etapas 7: Recomendaciones.

Por último, se presentó un informe con la propuesta alternativa para el mejoramiento del sistema de atención a usuarios de Bomba la V, se plasmaron las recomendaciones para optimizar el actual sistema. Cabe aclarar, que las recomendaciones presentadas están fundamentadas en el soporte estadístico obtenido en los análisis anteriores.

7. Definición del sistema**6.1 Descripción detallada del sistema a analizar**

El sistema de atención a usuarios de la estación de servicios de combustibles Bomba la V tiene un área delimitada para el uso exclusivo de usuarios que requieran el servicio de abastecimiento de combustibles. El sistema de atención cuenta con dos máquinas dispensadoras de combustibles que permiten atender simultáneamente a un total de seis usuarios que requieran combustible corriente y dos usuarios que requieran petrodiesel (ACPM). Las máquinas son operadas únicamente por el personal asignado en la estación de servicio, el cual atiende según el orden de llegada de los usuarios; cuando llega un usuario entra a la línea de espera para ser atendido por un servidor de Bomba la V, si el servidor se encuentra libre el usuario pasa de forma inmediata a ser atendido, después del tiempo de atención al usuario el servidor queda nuevamente libre para

la atención de posibles usuarios que estén en línea de espera y el usuario atendido abandona el sistema.

6.1.1 Principales subsistemas y áreas físicas que integran el sistema analizado

Los subsistemas que integran el sistema principal, que corresponde al sistema de atención a usuarios de Bomba la V, son los siguientes:

- Proceso de atención a usuarios:
 - Llega usuario al sistema
 - Usuario entra a línea de espera
 - Usuario es atendido por el servidor
 - Usuario abandona el sistema

6.1.2 Tipos de servicios que se realizan en el sistema analizado

El sistema de atención a usuarios de Bomba la V tiene como función principal el suministro de combustibles, los tipos de combustible que ofrece son:

- Corriente
- Diésel

6.1.3 Variables de entrada del sistema analizado

- Tiempo entre llegadas motos
- Tiempo entre llegadas autos
- Tiempo de atención en servidores motos
- Tiempo de atención en servidores autos

6.1.4 Horarios y días sujetos a estudio

Los muestreos se realizaron de lunes a domingo entre las 18:00 h y las 21:00 horas debido al alto flujo de usuarios que tiene el sistema analizado en esos horarios, reportado por la administración de la empresa.

6.1.5 Fuente empleada para la toma de la información necesaria para el estudio

Las muestras de las variables de entrada se tomaron mediante observación directa del sistema como se mencionó previamente en la metodología en los horarios de estudio y haciendo uso del sistema de seguridad con el que cuenta Bomba la V, esto con la respectiva autorización de los directivos de la empresa.

6.1.6 Supuestos

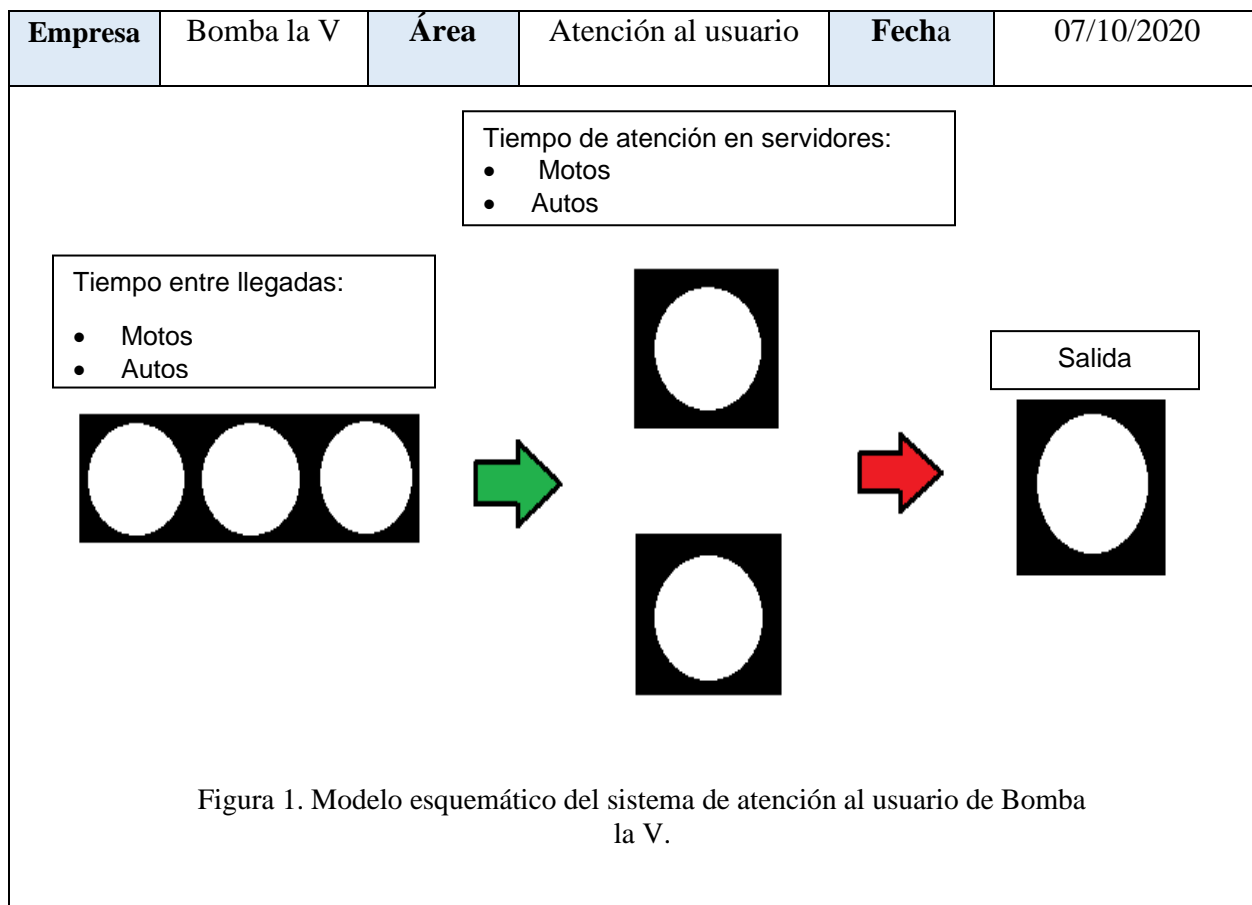
Este modelo se desarrolló bajo una serie de supuestos que permitieron llevar a cabo correctamente los objetivos establecidos y que se enlistan a continuación:

- El servicio no será interrumpido por fallas en los equipos y/o fallas eléctricas en el local.
- No se interrumpirá el servicio por falta de recursos utilizados en los procedimientos.
- No se consideran problemas o inconformidades de los usuarios, que puedan consumir más tiempo de lo normal en el sistema de atención por quejas.

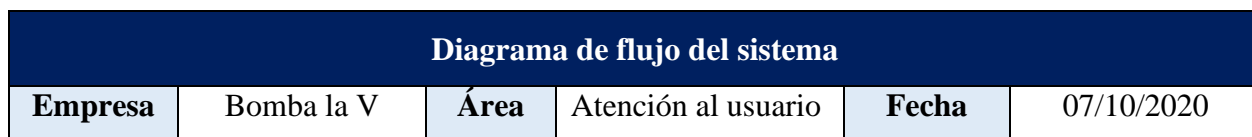
8. Modelo esquemático y diagrama de flujo del sistema.

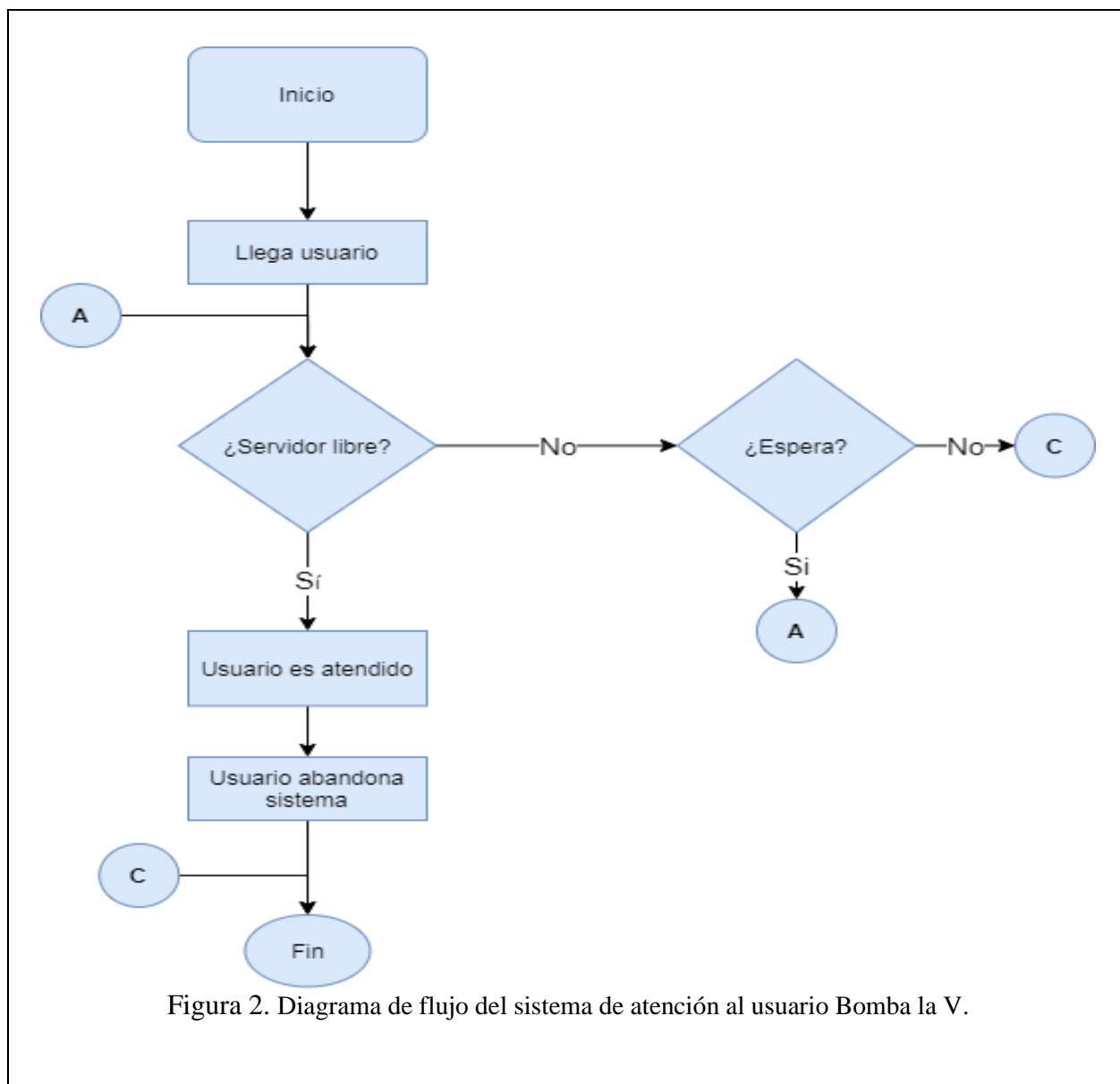
En la figura 1 se presenta el modelo esquemático del sistema.

Modelo esquemático del sistema



En la figura 2 se presenta el diagrama de flujo del sistema.





9. Recolección y análisis de datos.

8.1 Diseño de las hojas de verificación para la toma de datos

En las figuras 3, 4, 5 y 6 se muestran las hojas de verificación que fueron diseñadas para la recolección de datos de las variables de entrada del sistema de atención a usuarios Bomba la V. En cada hoja de verificación se especificó el lugar de estudio, el área a muestrear, horario de muestreo. Todas las hojas de verificación contienen una primera columna con el número de

usuario (N° Usuario), este se asignó de forma ascendente desde 1 hasta n, donde n representa el total de usuarios de la muestra para cada variable de entrada.

En la figura 3 se observa la hoja de verificación para la variable tiempo entre llegadas motos. En la segunda columna de esta hoja se lleva el registro de hora de llegada correspondiente a cada usuario, dicho registro se llevó en el formato hora de Excel tipo h:mm:ss (hora, minutos, segundos). En la tercera columna de la figura 3 se registró el tiempo entre llegadas de los usuarios el cual se tomó como la diferencia entre la ultima hora de llegada con la anterior hora de llegada. La cuarta columna presenta el ajuste realizado al tiempo entre llegadas llevado a un formato número (minutos).

Hoja de verificación para: tiempo entre llegadas motos			
Bomba la V			
Área a muestrear: servicio de suministro de combustibles			
Horario a muestrear 18:00 - 21:00			
N° usuario	Hora llegada	Tiempo entre llegadas	Formato número (min)
1			
2			
3			
n			

Figura 3. Hoja de verificación para la variable de entrada: tiempo entre llegadas motos.

En la figura 4, se observa la hoja de verificación para la variable tiempo de atención en servidores motos. En la segunda columna de esta hoja se lleva el registro tiempo de atención en servidores correspondiente a cada usuario, dicho registro se llevó en el formato hora de Excel tipo h:mm:ss (hora, minutos, segundos). En la tercera columna de la figura 4 se ajustó el tiempo entre llegadas a un formato número (minutos).

Hoja de verificación para: tiempo de atención en servidores motos
Bomba la V

Área a muestrea: servicio de suministro de combustibles		
Horario a muestrear 18:00 - 21:00		
Nº usuario	Tiempo de atención en servidores	Formato número (min)
1		
2		
3		
Nº		

Figura 4. Hoja de verificación para la variable tiempo de atención en servidores motos.

En la figura 5 se muestra la hoja de verificación para tiempo de llegadas entre autos, esta hoja utiliza el mismo formato de la figura 3.

Hoja de verificación para: tiempo entre llegadas autos			
Bomba la V			
Área a muestrear: servicio de suministro de combustibles			
Horario a muestrear 18:00 - 21:00			
Nº usuario	Hora llegada	Tiempo entre llegadas	Formato número (min)
1			
2			
3			
Nº			

Figura 5. Hoja de verificación para la variable tiempo entre llegadas autos.

Por último, la hoja de verificación para la variable tiempo de atención en servidores autos de la figura 6 se basa en el formato de la figura 4 anteriormente descrita.

Hoja de verificación para: tiempo de atención en servidores autos		
Bomba la V		
Área a muestrear: servicio de suministro de combustibles		
Horario a muestrear 18:00 - 21:00		
Nº usuario	Tiempo de atención en servidores	Formato número (min)
1		
2		
3		
Nº		

Figura 6. Hoja de verificación para la variable tiempo de atención en servidores autos.

8.2 Organización y análisis de los datos muestreados

El análisis de datos se llevó a cabo mediante la distribución de frecuencia, posteriormente se procedió a hacer el ajuste de los datos muestreados de las variables de entrada con el fin de determinar el tipo de distribución que siguen los datos tomando como base el coeficiente de determinación R^2 .

Será necesario definir las siguientes formulas y conceptos estadísticos a utilizar para el respectivo ajuste de los datos:

- 1) FO, corresponde a la frecuencia observada de los datos.
- 2) $R = Vmax - Vmin$, donde R es el rango de los datos muestreados, Vmax el valor máximo de los datos muestreados y Vmin el valor mínimo de los datos muestreados.
- 3) $AC = \frac{Rango}{1+3.322\log(n)}$, donde AC corresponde al ancho de clase(Cárdenas Zavala, 2018).

- Variable: tiempo entre llegadas motos

$$FO = 1713$$

$$R = Vmax - Vmin$$

$$R = 5.001 - 0.000 = 5.001$$

$$AC = \frac{Rango}{1 + 3.322 \log(n)}$$

$$AC = \frac{5.001}{1 + 3.322 \log(1713)} = 0.425 \approx 0.45$$

En la tabla 1 se muestra la distribución de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas motos.

Tabla 1. Distribución de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas motos.

Distribución de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas motos	
Clases	FO
1	794
2	454
3	216
4	112
5	62
6	34
7	27
8	6
9	3
10	3
11	2
	1713

Con los datos agrupados por clase se procede a construir el histograma de frecuencias como se muestra en la figura 7.

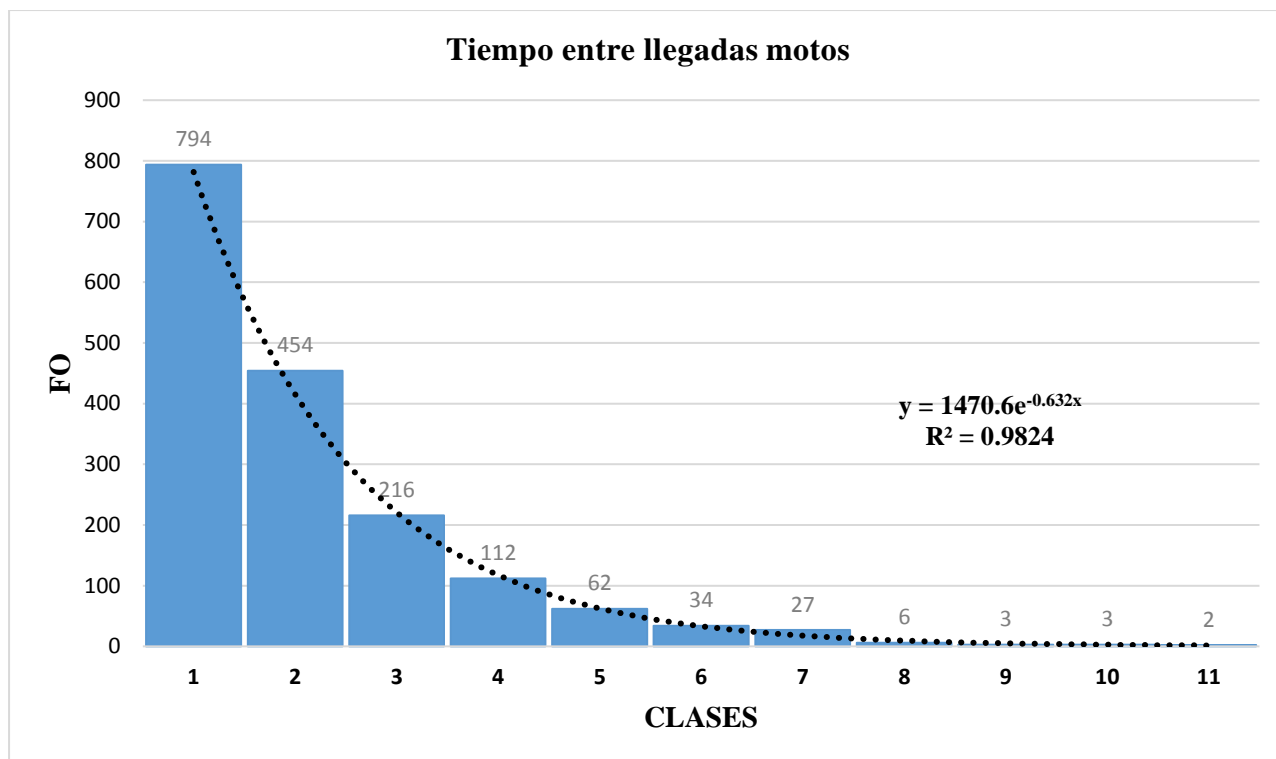


Figura 7. Histograma de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas motos.

Con un coeficiente de determinación R^2 de 0.9824 la variable tiempo entre llegadas se ajusta a una distribución de tipo exponencial como se observa en la figura 7.

- Variable: Tiempo entre llegadas autos

Para esta variable se tomó una muestra $n = 1000$, los tiempos se llevaron a un formato número (minutos) como se explicó anteriormente en el desarrollo de las hojas de verificación, esto con el objetivo de realizar los siguientes cálculos y análisis:

$$FO = 1000$$

Donde FO es la frecuencia observada de los datos.

$$R = Vmax - Vmin$$

$$R = 35.45 - 0.867 = 34.583$$

Donde R es el rango de los datos.

$$AC = \frac{34.583}{1 + 3.322 \log(1000)} = 3.153 \approx 3.2$$

Donde AC es el ancho de clase.

En la tabla 2 se muestra la distribución de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas autos.

Tabla 2. Distribución de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas autos.

Distribución de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas autos	
Clases	FO
1	132
2	125
3	114
4	99
5	96
6	82
7	80
8	72
9	71
10	61
11	68
	1000

Con los datos agrupados por clase se procede a construir el histograma de frecuencias como se muestra en la figura 8.

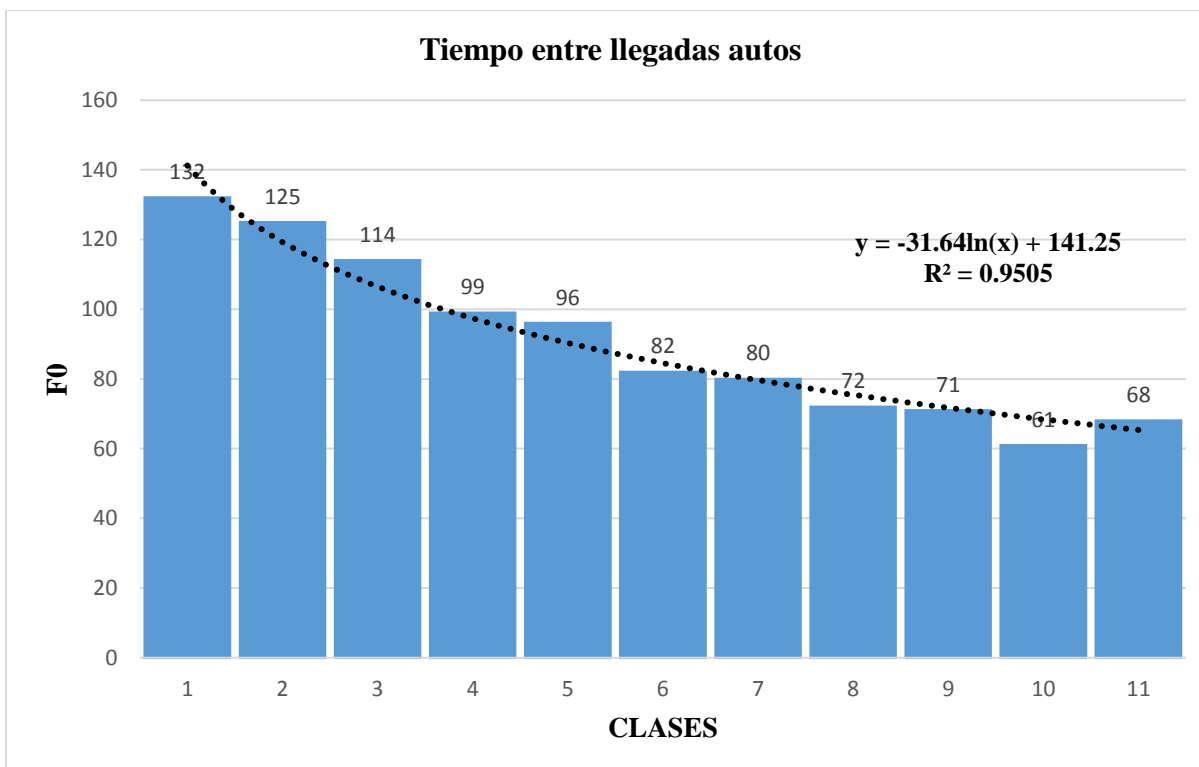


Figura 8. Histograma de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas autos.

Con un coeficiente de determinación R^2 de 0.9505 la variable tiempo entre llegadas se ajusta a una distribución de tipo Log normal como se observa en la figura 8.

- Variable: Tiempo de atención en servidores motos.

Para esta variable se tomó una muestra $n = 500$, los tiempos se llevaron a un formato número (minutos) como se explicó anteriormente en el desarrollo de las hojas de verificación, esto con el objetivo de realizar los siguientes cálculos y análisis:

$$FO = 500$$

Donde FO es la frecuencia observada de los datos.

$$R = Vmax - Vmin$$

$$R = 1.00 - 0.283 = 0.717$$

Donde R es el rango de los datos.

$$AC = \frac{0.717}{1 + 3.322 \log(500)} = 0,72 \approx 0.70$$

Donde AC es el ancho de clase.

En la tabla 3 se muestra la distribución de frecuencias para la variable tiempo entre llegadas autos.

Tabla 3. Distribución de frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores.

Distribución de frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores motos	
Clases	FO
1	81
2	86
3	110
4	54
5	38
6	27
7	19
8	38
9	18
10	29
500	

Con los datos agrupados por clase se procede a construir el histograma de frecuencias como se muestra en la figura 9.

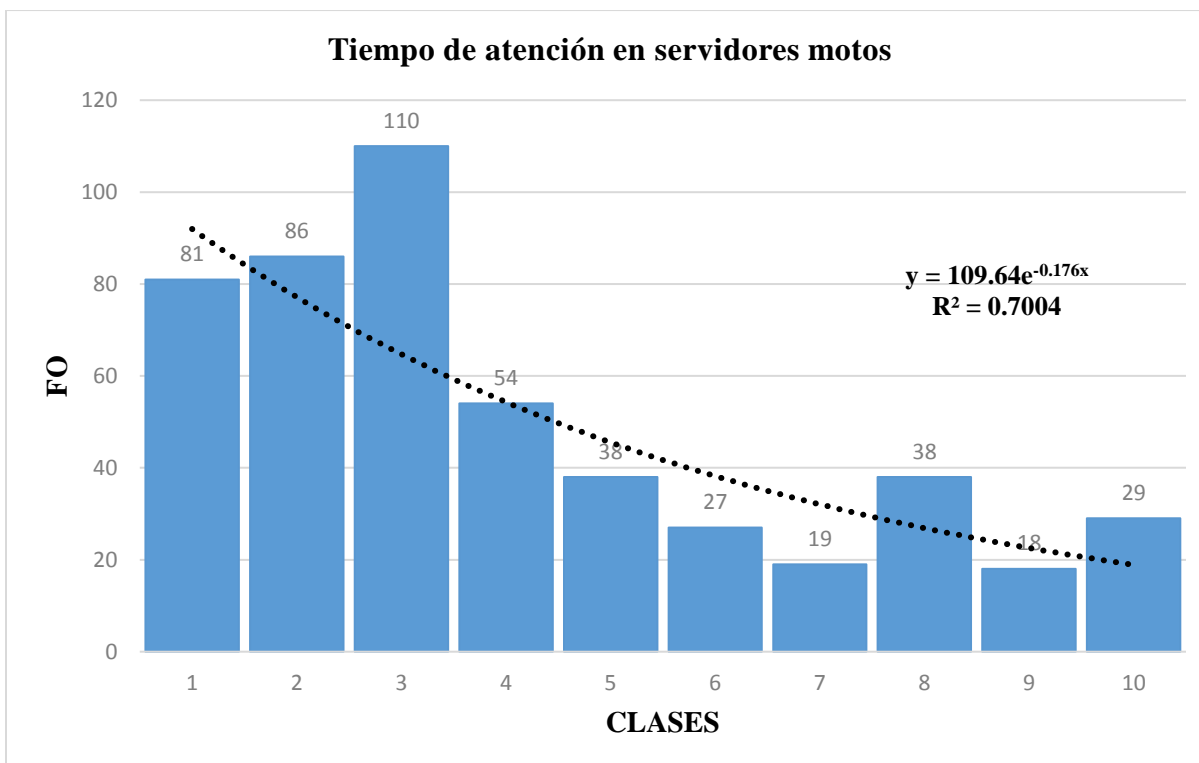


Figura 9. Histograma de frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores motos.

Con un coeficiente de determinación R^2 de 0.7004 la variable tiempo de atención en servidores motos se ajusta a una distribución de tipo exponencial como se observa en la figura 9. Se encontró un ajuste lognormal con un coeficiente de determinación relativamente bajo, teniendo en cuenta que los datos muestreados para la variable de atención en servidores motos presentan una mayor variabilidad que los tiempos entre llegadas debido a los múltiples factores que influyen en dicha variabilidad como la cantidad de combustible requerido por el usuario, la capacidad del tanque del vehículo, la capacidad adquisitiva del usuario, entre otros. Se consideró el ajuste lognormal como el más adecuado para una muestra de 500 datos.

- Variable: tiempo de atención en servidores autos.

Para esta variable se tomó una muestra $n = 300$, los tiempos se llevaron a un formato número (minutos) como se explicó anteriormente en el desarrollo de las hojas de verificación, esto con el objetivo de realizar los siguientes cálculos y análisis:

$$FO = 300$$

Donde FO es la frecuencia observada de los datos.

$$R = Vmax - Vmin$$

$$R = 5.00 - 0.810 = 4.19$$

Donde R es el rango de los datos.

$$AC = \frac{4.19}{1 + 3.322 \log(300)} = 0.451 \approx 0.450$$

Donde AC es el ancho de clase.

En la tabla se muestra la distribución de frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores autos

Tabla 4. Distribución de frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores autos.

Distribución de Frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores autos	
Clases	FO
1	0
2	20
3	25
4	36
5	31
6	30
7	32
8	30
9	35
10	30
11	31

Con los datos agrupados por clase se procede a construir el histograma de frecuencias como se muestra en la figura 10.

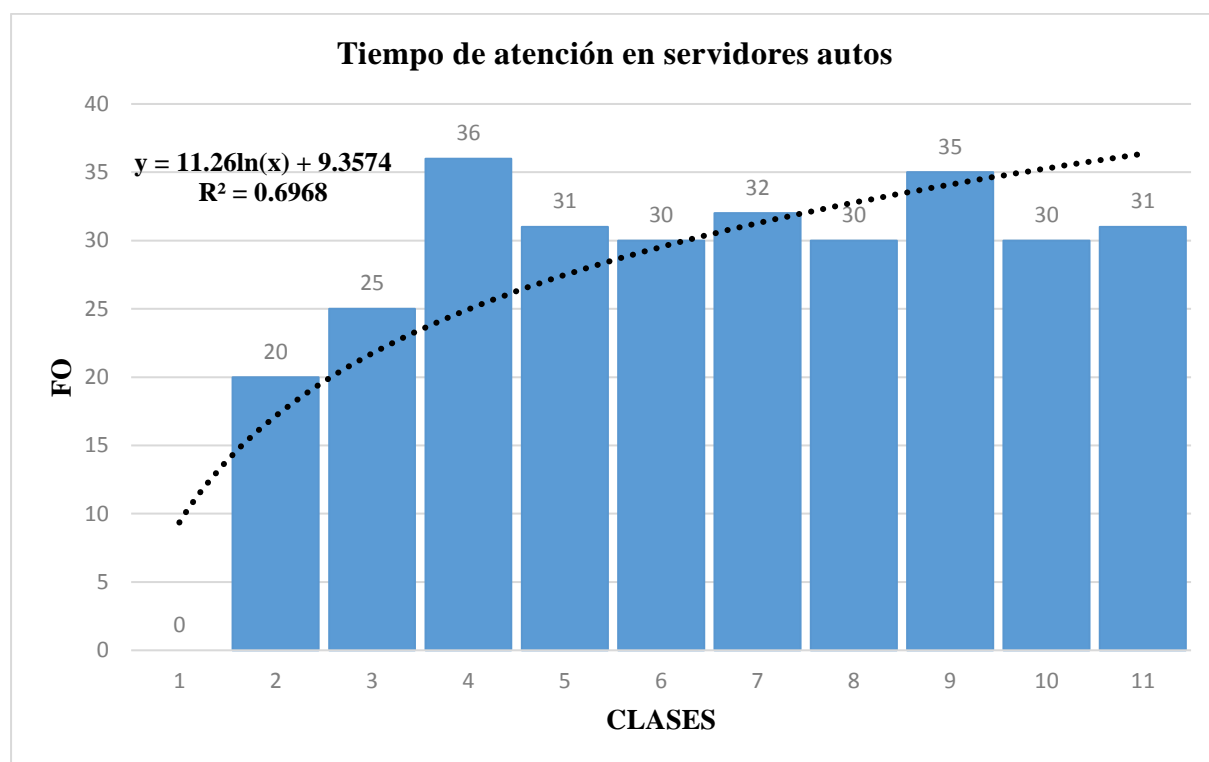


Figura 10. Histograma de frecuencias para la variable tiempo de atención en servidores autos.

Con un coeficiente de determinación R^2 de 0.6968 la variable tiempo entre llegadas se ajusta a una distribución de tipo lognormal como se observa en la figura 10. Al tratar de explicar el comportamiento de los datos encontramos un coeficiente de determinación relativamente bajo, se encontró que comparado con otros ajustes, la distribución lognormal es la que se ajusta con un mayor coeficiente de determinación R^2 al comportamiento de los datos muestreados.

Considerando también que esta variable tiempo de tiempo de atención en servidores autos está sujeta a diferentes factores que afectan a un posible ajuste con mayor coeficiente de

determinación como se explicó para la variable de tiempo de atención en servidores motos, se consideró el ajuste lognormal como el que describe mejor el comportamiento de los datos para una muestra de 300.

8.3 Resumen del ajuste de cada variable y a la distribución a la que se ajustó

En la tabla 5, se muestra el resumen de las variables de entrada del modelo a simular, la distribución a la cual se ajustaron mejor y los estimadores a utilizar en el modelo de simulación.

Para valores medios y altos de σ , la distribución lognormal es significativamente asimétrica, pero a medida que decrece la distribución es más simétrica. Si σ se acerca a la unidad, la distribución lognormal es equivalente aproximadamente a la distribución exponencial negativa. También se puede decir que para valores de $\sigma < 0,2$ la distribución lognormal se aproxima a la distribución normal (Nacional & Trabajo, 2005).

Tabla 5. Distribución y estimadores para cada variable de entrada.

Variable	Distribución	Estimadores
Tiempo entre llegadas motos	Exponencial	$\bar{x}= 0.705$
Tiempo entre llegadas autos	Log Normal	$\bar{x}=15.195, \sigma=9.909$
Tiempo de atención en servidores motos	Exponencial	$\bar{x}= 0.538$
Tiempo de atención en servidores autos	Log Normal	$\bar{x}= 2.80, \sigma=1.24$

10. Desarrollo del modelo en lenguaje específico de simulación.

9.1 Redacción de las características del sistema a simular.

A continuación, se presentarán las características del modelo a simular.

Durante horario de estudio del sistema de atención de la Bomba la V (18:00 – 21:00) los tiempos entre llegada para motos siguen una distribución exponencial y los tiempos entre llegada para autos siguen una distribución lognormal, luego se dirigen a la fila para ser atendidos por los servidores (la capacidad de la fila se considera infinita para efectos de la simulación, ya que los usuarios entran en cola según el orden de llegada para posteriormente ser atendidos por los servidores). El tiempo de atención en servidores para motos sigue una exponencial, para el caso de tiempos de atención en servidores autos se ajustó a una distribución lognormal, cada variable con sus respectivos estimadores. Por último, los usuarios terminan de ser atendido y abandonan el sistema. Se consideran movimientos entre locaciones de 10 segundos.

9.2 Impresión del layout del modelo.

El objetivo de este punto es desarrollar el modelo en el software incluyendo la edición de las locaciones, atributos, estatutos necesarios, variables para cada tipo de servicio solicitado, así como realizar la lógica adecuada para que el modelo represente fielmente al sistema real. Se realizaron 100 corridas de tamaño 3 horas para el horario considerado y muestreado en el modelo.

En la figura 11, se muestra la distribución física de las locaciones que componen el modelo en ProModel.

Distribución física de locaciones

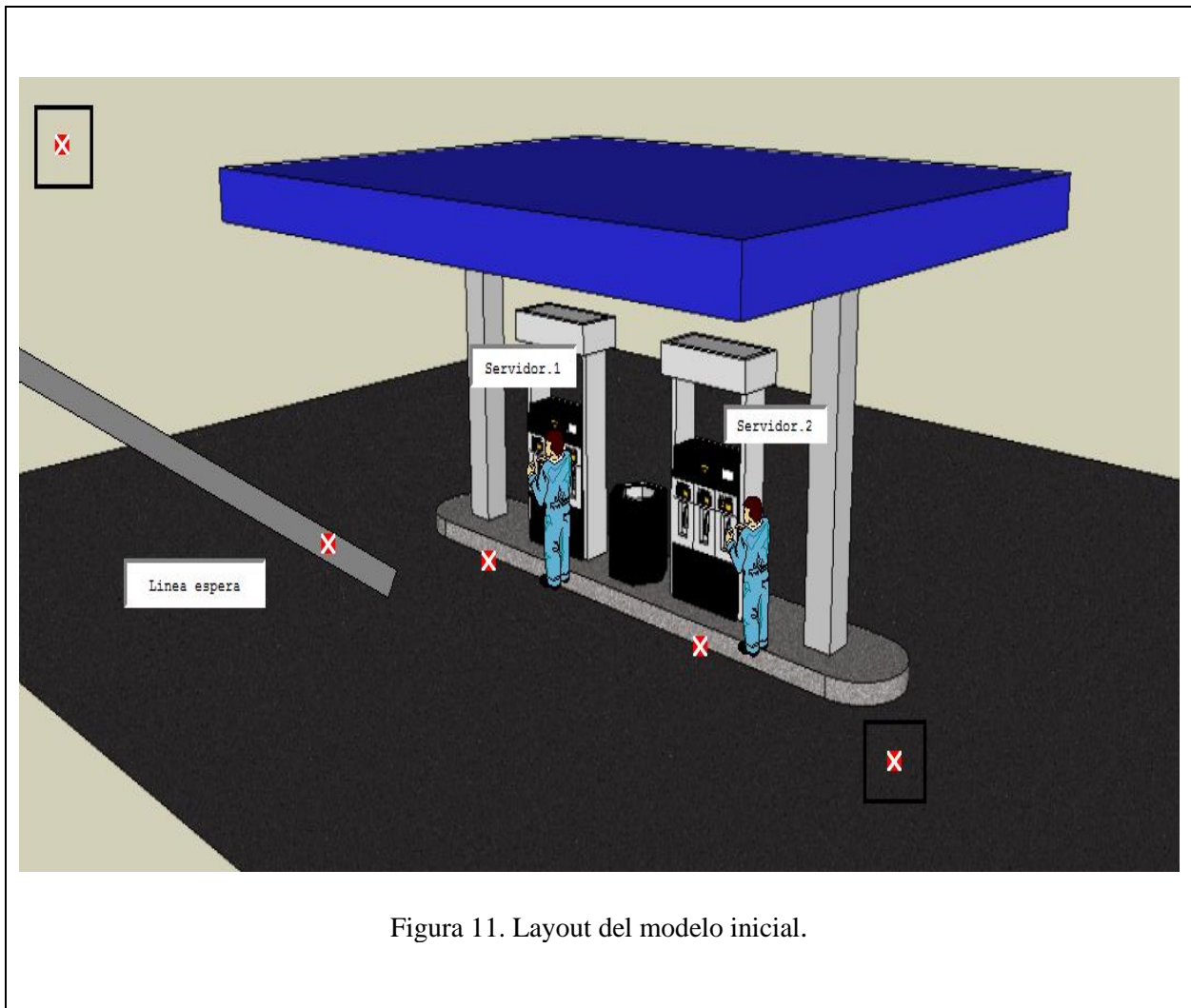


Figura 11. Layout del modelo inicial.

9.3 Impresión del código fuente del modelo

En la figura 12 se presenta el código fuente del modelo impreso.

```

*****
*                                     *
*           Listado del modelo formateado:           *
* C:\Users\Acer\Desktop\Universidad\Semestre X\Proyecto Trabajo de Grado\Simulacion Inicial.mod *
*                                     *
*****

Unidades de Tiempo:      Minutos
Unidades de Distancia:   Metros

*****
*                                     *
*           Locaciones           *
*                                     *
*****

Nombre      Cap Unidades Estadist      Reglas      Costos
-----
Servidor    1 2      Series de tiempo Más Tiempo, , Primera
Servidor.1  1 1      Series de tiempo Más Tiempo, ,
Servidor.2  1 1      Series de tiempo Más Tiempo, ,
Linea_espera 20 1      Series de tiempo Más Tiempo, FIFO,
Input       1 1      Series de tiempo Más Tiempo, ,
Output      1 1      Series de tiempo Más Tiempo, ,

*****
*                                     *
*           Entidades           *
*                                     *
*****

Nombre      Velocidad (mpm) Estadist      Costos
-----
Moto        50      Series de tiempo
Auto        50      Series de tiempo

*****
*                                     *
*           Procesamiento           *
*                                     *
*****

Proceso      Enrutamiento

Entidad  Locación  Operación      Blk Salida  Destino  Regla  Lógica de Movimiento
-----
Moto     Input    IF Tipo_de_moto = 1 THEN
          BEGIN
          GRAPHIC 1
          END

          IF Tipo_de_moto = 2 THEN
          BEGIN
          GRAPHIC 2
          END

          IF Tipo_de_moto = 3 THEN
          BEGIN
          GRAPHIC 3
          END

          IF Tipo_de_moto = 4 THEN
          BEGIN
          GRAPHIC 4
          END
          1  Moto  Linea_espera FIRST 1 Move For 10 sec

```

```

Moto  Linea_espera          1  Moto  Servidor  FIRST 1 Move For 10 sec
Moto  Servidor  wait E[0.538] min
      1  Moto  Output  FIRST 1 Move For 10 sec
Moto  Output          1  Moto  EXIT    FIRST 1 Move For 10 sec
Auto  Input          1  Auto  Linea_espera FIRST 1 Move For 10 sec
Auto  Linea_espera          1  Auto  Servidor  FIRST 1 Move For 10 sec
Auto  Servidor  wait L[2.80, 1.24] min
      1  Auto  Output  FIRST 1 Move For 10 sec
Auto  Output          1  Auto  EXIT    FIRST 1 Move For 10 sec

*****
*                               *
*                               *
*****

Entidad  Locación  Cant. por Arribo  Primera Vez  Ocurrencias  Frecuencia  Lógica
-----  -
Moto  Input  1          0          INF          E[0.705] min  Tipo_de_moto = Dist_tipo_moto()
Auto  Input  1          0          INF          L[15.195 , 9.909] min

*****
*                               *
*                               *
*****

ID      Tipo      Clasificación
-----  -
Tipo_de_moto Integer  Entidad

*****
*                               *
*                               *
*****

ID      Tipo      Valor Inicial  Estadist
-----  -
Motos  Integer  0              Ninguna

*****
*                               *
*                               *
*****

ID      Tipo      Acumulativa  Porcentaje  Valor
-----  -
Dist_tipo_moto Discreta  No          15          1
                30          2
                25          3
                30          4

```

Figura 12. Código fuente del modelo.

9.4 Impresión del reporte de salida de las corridas

A continuación, se muestran las tablas con el reporte de salida de 100 corridas ya promediadas de 3 horas, que fueron las horas en las que se realizó el muestreo (18:00 – 21:00 h).

9.4.1 Locaciones de capacidad individual reporte general

En la figura 13, se muestra el reporte general de las locaciones y se puede observar que el porcentaje de operación del servidor 1 es de 53.91% y el porcentaje de operación del servidor 2 es de 39.47%, y en general los servidores tienen un porcentaje de operación de 46,69%. Se puede observar también, un porcentaje de inactividad para el servidor 1 de 45.06%, para el servidor 2 un porcentaje de inactividad de 59.50% y en promedio los servidores tienen un porcentaje de inactividad de 52.28% lo que indica un alto porcentaje de tiempo ocioso en el área de atención al usuario y/o servicio de suministro de combustibles.

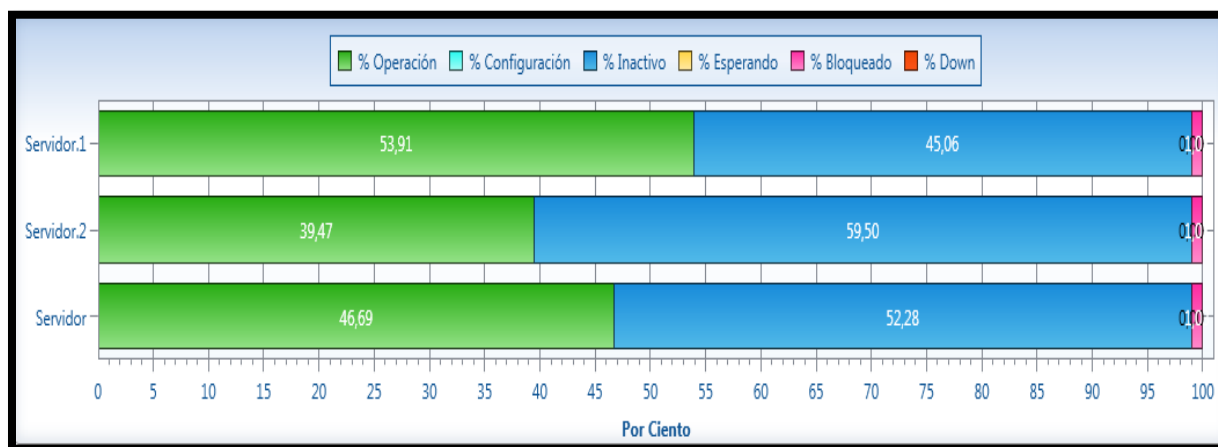


Figura 13. Reporte de locaciones con capacidad individual.

9.4.2 Locaciones con múltiple capacidad

En la figura 14, se puede observar un porcentaje de parte ocupada de la fila de 86.43% y un porcentaje de vacío de 13.57%, según estos porcentajes se puede inferir que la línea de espera se encuentra ocupada la mayor parte del tiempo.

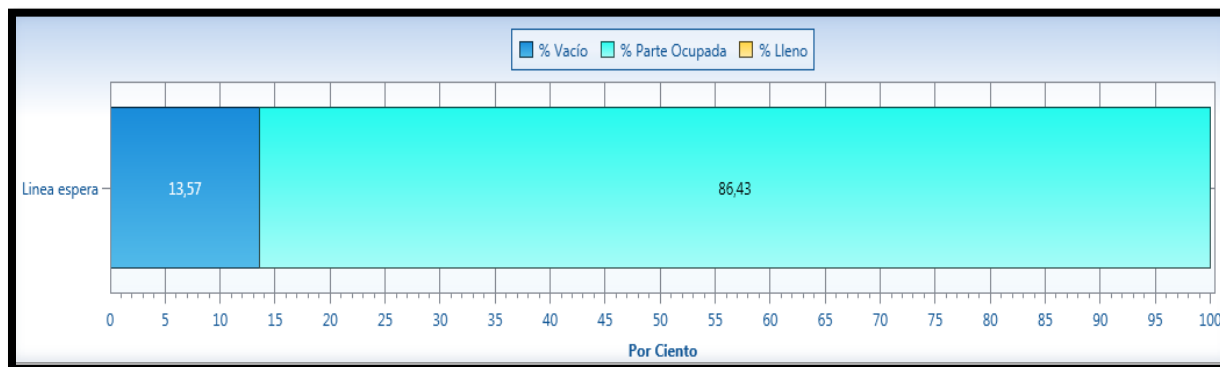


Figura 14. Reporte de locaciones con múltiple capacidad.

9.4.3 Actividad de las entidades en minutos

En la figura 15, se plasma la información de la actividad de las entidades del sistema: moto y auto. Para ambas entidades se observa el porcentaje en lógica de movimiento, el porcentaje esperando, el porcentaje en operación y el porcentaje bloqueado. También se indica que salieron un total de $249.64 \approx 250$ motos del sistema y $12.02 \approx 12$ autos, el tiempo promedio en el sistema para motos es de 2.57 minutos y para autos 4.61 minutos, el tiempo promedio en operación para motos es de 1.70 minutos y para autos 3.89 minutos.

La diferencia entre el tiempo en sistema promedio (min) y el tiempo en operación promedio (min), da como resultado el tiempo de espera promedio (min); para el caso de las motos se obtiene un tiempo de espera promedio de 0.87 min, y para el caso de los autos se tiene un tiempo de espera promedio de 0.72 min.

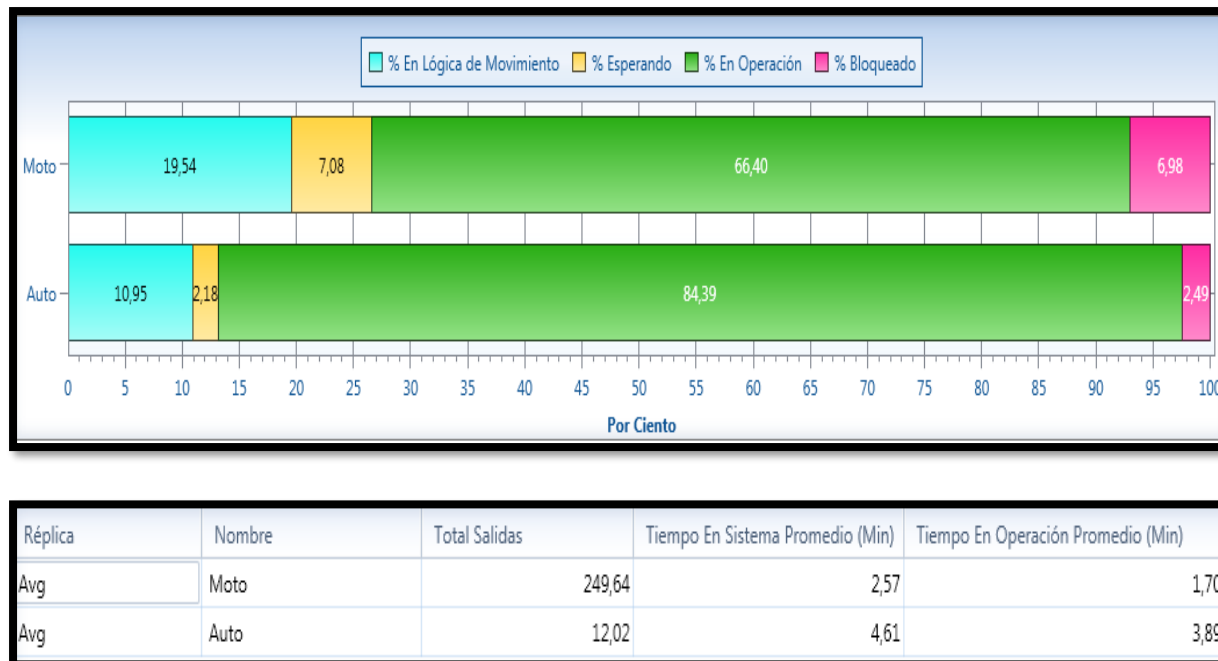


Figura 15. Reporte de actividad de entidades en minutos.

10. Experimentación y evaluación de alternativas.

10.1 Especificar alternativas a considerar

Debido al alto porcentaje de inactividad en servidores, el cual es de 52,28% como se observa en la figura 13, se considera como alternativa, asignar un solo servidor encargado del punto de atención al usuario con una capacidad de atención de dos usuarios de manera simultánea, para de esta forma aprovechar el tiempo que tarda en suministrar el combustible el dispensador; ya que este tiempo en gran parte de los casos no necesita la total presencia del servidor. Con este cambio se espera disminuir considerablemente el porcentaje de tiempo ocioso y atender igual promedio tanto de motos como autos. Para determinar los beneficios que esta recomendación traería se procedió a simular con modelo alternativo donde se asignó un solo servidor con capacidad de atención múltiple.

10.2 Impresión del layout modelo alternativo.



10.3 Impresión del código de fuente de alternativas

La figura 17, detalla el código fuente del modelo con la alternativa propuesta de fijar de un servidor con capacidad de atención de dos usuarios en simultáneo.

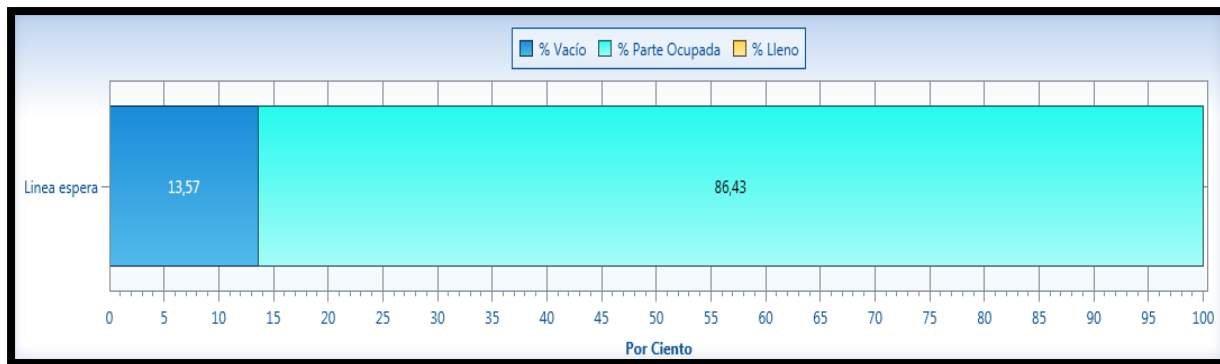
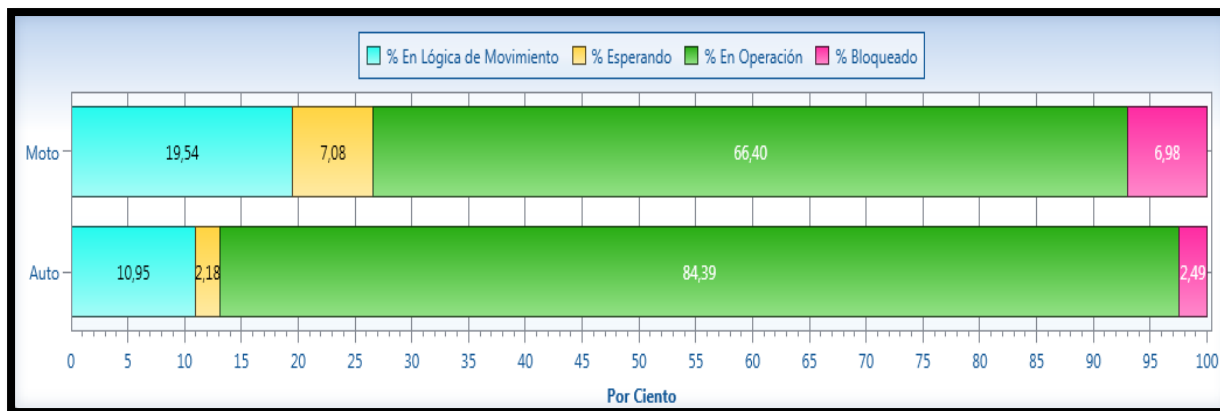


Figura 19. Reporte de locaciones con capacidad múltiple modelo alternativo (línea de espera).

10.4.2 Actividad de las entidades en minutos:

En la figura 20 se plasma la información de la actividad de las entidades del sistema: moto y auto. Para ambas entidades se observa el % en lógica de movimiento, el % esperando, el % en operación y el % bloqueado. También se indica que salieron un total de $249.64 \approx 250$ motos del sistema y $12.02 \approx 12$ autos, el tiempo promedio en el sistema para motos es de 2.57 minutos y para autos 4.61 minutos, el tiempo promedio de atención para motos es de 1.70 minutos y para autos 3.89 minutos. La diferencia entre el tiempo en sistema promedio (min) y el tiempo en operación promedio (min), da como resultado el tiempo de espera promedio (min); para el caso de la motos tenemos un tiempo de espera promedio de 0.87 min, y para el caso de los autos tenemos un tiempo de espera promedio de 0.72 min.



Réplica	Nombre	Total Salidas	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)
Avg	Moto	249,64	2,57	1,70
Avg	Auto	12,02	4,61	3,89

Figura 20. Reporte de actividad de las entidades con el modelo alternativo.

En la tabla 6 se puede observar que el modelo alternativo permite un mayor aprovechamiento del servidor con igual rendimiento que el modelo inicial de dos servidores.

Tabla 6. Tabla comparativa de resultados modelo inicial versus modelo alternativo.

	Modelo inicial	Modelo alternativo
% Utilización servidores	46.69	68.39
% Ocupación línea de espera	86.43	86.43
Total salidas motos	250	250
Total salidas autos	12	12
Tiempo en sistema promedio motos (min)	2.57	2.57
Tiempo en sistema promedio autos (min)	4.61	4.61
Tiempo en operación promedio motos (min)	1.70	1.70
Tiempo en operación promedio autos (min)	389	3.89

11. Conclusiones

La metodología utilizada para un modelo de simulación de una estación de servicios de combustibles sirve como plataforma para realizar trabajos posteriores que relacionen las mismas variables de entrada y de respuesta. También, con el objetivo de obtener razones cuantitativas para la toma de decisiones, se puede recurrir a esta metodología si se desea llevar a cabo más adelante una investigación donde se requieran proponer alternativas de mejora.

El modelo realizado en este trabajo es adecuado como soporte para la toma de decisiones ya que se convierte en una vía para la obtención de ventajas competitivas de empresas prestadoras de servicios.

12. Recomendaciones

Al momento de analizar el modelo planteado en el proyecto y la alternativa propuesta se recomienda asignar a un único servidor, ya que este logra satisfacer la demanda del servicio con menor porcentaje de tiempo vacío y a su vez logrando un total de salidas igual tanto para motos como para autos demostrando un desempeño equivalente al del modelo de dos servidores. Es claro que se evidencian pequeños aumentos en los tiempos de espera en los usuarios, pero que son asimilables a la hora de buscar eliminar tiempo vacío del servidor.

Con base en los objetivos específicos, estos se cumplieron satisfactoriamente ya que en los reportes de salida se consideraron todos estos y otras medidas estadísticas adicionales que apoyaron fuertemente en la recomendación hecha anteriormente.

Referencias bibliográficas

- Abad, R. C. (2002). *Introducción a la Simulación y la Teoría de Colas* primera Edición. Coruña: NETBIBLO, S.L.
- Dunna, E. G., García , H., & Cárdenas, L. B. (2006). *Smulación y análisis de sistemas con ProModel*. PEARSON EDUCACIÓN.
- Elizabeth, A. C., & Correa Fuenzalida, M. P. (2016). *Estudio de la teoría de colas como una metodología en la optimización de tiempo del departamento de control en la municipalidad de San Nicolásm provincia de Ñuble*. Chillán: Universidad del Bío - Bío. Red de Bibliotecas - Chile.
- Lieberman, H. y. (2015). *Teoría de Colas o Líneas de Espera*. En F. S. Hillier, *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México D.F.. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Moraleda, A. U., & Martín Villalba, C. (2013). *Modelado y Simulación de Eventos Discretos*. Madrid.
- Sabater, J. P. (2016). *Aplicando Teoría de Colas en Dirección de Operaciones*.
- Thompson, I. (2006). La satisfacción del cliente. *Academia*, 6.
- Zavala, J. C. (s.f.). *Simulación análisis y modelación de sistemas discretos; en un enfoque práctico*. Instituto Tecnológico de Colima .
- Zeuss. (s.f.). zeuss. Obtenido de <https://www.zeuss.com.co/quienes-somos>